

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：高 中 組

作品名稱：吞雲吐霧 - 煙圈行為之探討

關 鍵 詞：煙圈、流場觀察

編 號：040102

學校名稱：

國立臺南女子高級中學

作者姓名：

尤敏毓、薛涵中

指導老師：

周青彬



吞雲吐霧 煙圈行為探討

一、 摘要

本實驗為研究作用力與出口大小對煙圈行為的影響，作用力以單擺控制，出口大小則以光圈控制，並攝影煙圈的行為加以觀察。對煙圈行為的影響分為三方面探討：煙圈外型、煙圈前進速度及煙圈所能前進的最長距離。而由實驗結果得知此二者確實與煙圈行為關係密切。出口大小越大，開始產生煙圈所需的作用力越大。在一定出口大小範圍內，煙圈大小隨作用力增大而增大。在相同條件下，作用力越大，煙圈前進速度越快，前進最長距離越長；在相同條件下，出口大小越大，煙圈前進速度越慢，前進最長距離越短。

二、 研究動機

物理課上到白努利原理時，老師提到費曼的煙圈實驗，而且平時也會看到抽煙的人吐煙圈，因為覺得很有趣，在好奇心的驅使下，想討論各種因素對煙圈行為影響，以進一步了解這日常生活中常見的現象。

三、 研究目的

探討不同作用力和出口大小對煙圈行為的各種影響：

1. 煙圈外型
2. 煙圈前進速度
3. 煙圈前進最長距離

四、 研究設備及器材

(一) 基本設備

1. 壓克力箱一個 高 21cm 寬 16.5cm 長 24cm(於正面開一邊長 9cm 之正方形洞，並於一側面開一圓形小孔)
2. 黑色壁報紙半開一張
3. 單擺一組(附量角器)
4. 方格紙一張
5. 膠帶一卷

(二) 煙圈產生管

1. 塑膠管一個(直徑 4.8cm，長度 30cm)
2. 汽球數個
3. 橡皮筋一條
4. 廚房紙巾數張
5. 吸管 40 根

(三) 煙的製備

1. 鹽酸 37% 一瓶
2. 氨水 28% 一瓶
3. 針筒兩支

(四) 攝影器材

1. 攝影機一台
2. 電視機一台
3. 日光燈一座
4. 雷射筆二支
5. 腳架一架

(五) 其他器材：

1. 游標尺一把
2. 直尺 30cm 一把
3. 布尺 150cm 一條
4. 電腦一台
5. 應用軟體：Microsoft Excel

(六) 實驗配置圖

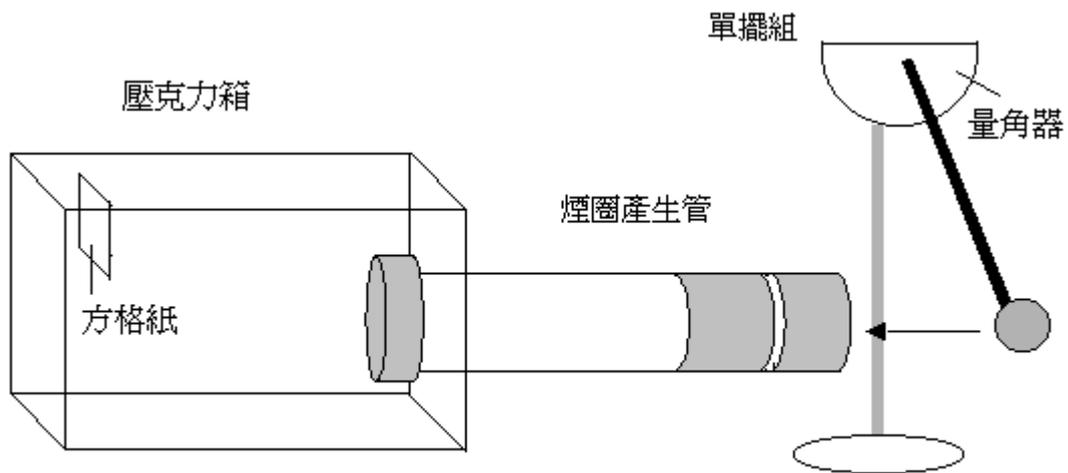


圖1-1 測量煙圈外型之設備配置圖

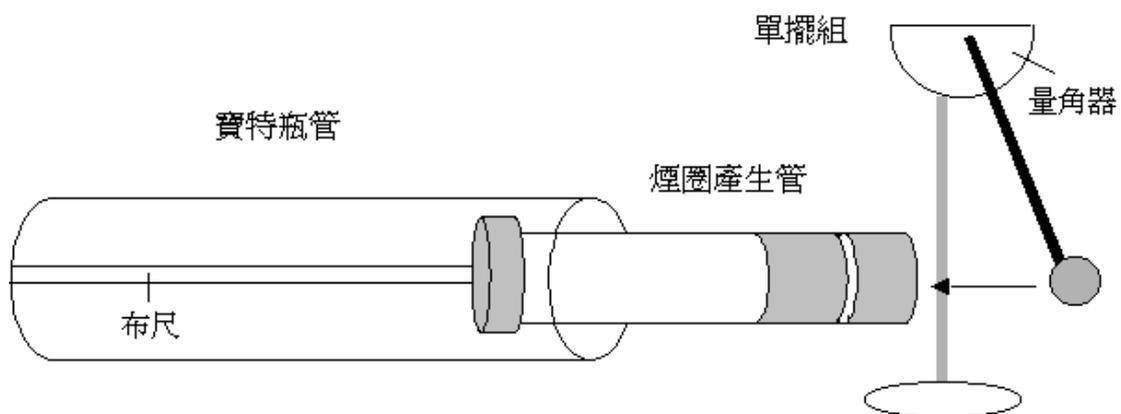


圖1-2 測量煙圈前進速度及距離之設備配置圖

五、 研究過程

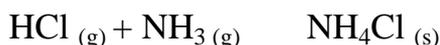
(一) 概念構想

1. 產生煙圈的原理

空氣流經開口時，在開口邊緣產生旋轉，因而形成煙圈。

2. 煙的產生

以鹽酸與氨水蒸氣反應產生之氯化銨煙霧為實驗對象，其反應式列於下：



3. 作用力的控制

以單擺作為產生煙圈的作用力來源，且以改變單擺角度，來改變作用力的大小其擺動角度由量角器測量。單擺角度越大，其於最低點之速度越快，敲擊力量越大。

4. 出口大小的控制

將光學儀器之光圈接於煙圈產生管的出口，藉由調整光圈口徑，即可改變煙圈出口的大小。

5. 整流器的原理

空氣流經整流器時，被強迫沿著吸管前進，因此空氣變成均勻的平行流動。

(二) 設備配置

1. 壓克力箱的配置

壓克力箱貼上黑紙，只留下背面及上面能透光；取一小張方格紙固定於箱子內部；在一側面的黑紙裁一段縫隙，如圖 2-1。

2. 吸管整流器的製作

將直徑為 5mm 之吸管以保麗龍膠黏成一束，裁成 5.5cm 之長度，如圖 2-2。

3. 煙圈產生管的製作

將氣球套於塑膠管末端，以橡皮筋固定；裝入吸管整流器，距離前端管口 10cm；在塑膠管前端內側，貼上 2 小張廚房紙巾；前端套上光圈，以膠帶固定，如圖 2-3。

4. 保特瓶管的製作

裁保特瓶中段 14.5cm，套成一長管，將黑紙黏於內壁，並在黑紙上貼一布尺。

5. 實驗 將箱子、煙圈產生管、單擺組依圖 1-1 擺置。

6. 實驗 將保特瓶管、煙圈產生管、單擺組依圖 1-2 擺置。

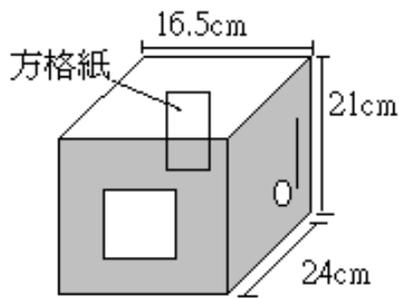


圖2-1 壓克力箱配置圖

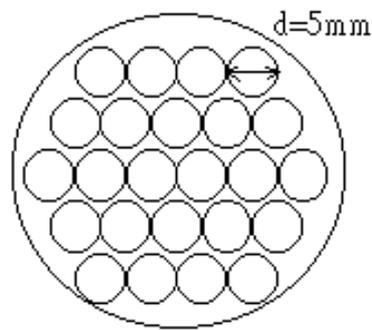


圖2-2 整流器配置圖

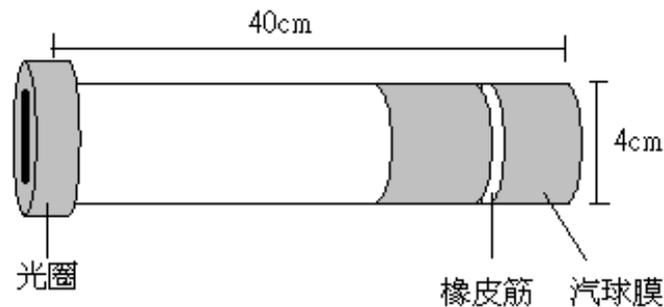


圖2-3 煙圈產生管配置圖

(三) 實驗步驟

1 . 產生煙圈的單擺角度條件

- (1) 將箱子、煙圈產生管、單擺組依圖 1-1 擺置。
- (2) 將光圈口徑調至 1.50cm，單擺由 5°開始，以 5°為間隔，依次增加單擺角度，紀錄能產生煙圈，且煙圈能前進 5cm 以上之最小角度。
- (3) 將光圈口徑調至 1.75cm，重複 1.之做法。
- (4) 將光圈口徑調至 2.00cm，重複 1.之做法。

2 . 不同單擺角度對煙圈外型的影響

- (1) 將箱子、煙圈產生管、單擺組依圖 1-1 擺置。
- (2) 將日光燈照於壓克力箱上方；雷射由黑紙縫隙射入；攝影機固定於腳架上，在旁備用。
- (3) 將光圈口徑調至 1.50cm，單擺角度調至 20°，將雷射光調整至煙圈前進路線上，敲打 20 次，並攝影之，以紀錄煙圈之運動行為。
- (4) 將單擺角度分別調至 22.5°、25.0°、27.5°、30.0°，重複 1.之做法。
- (5) 將光圈口徑調至 1.75cm，單擺角度調至 25.0°、27.5°、30.0°、32.5°、35.0°，重複 1.之做法。
- (6) 將光圈口徑調至 2.00cm，單擺角度調至 35.0°、37.5°、40.0°、42.5°、45.0°，重複 1.之做法。

- (7) 將攝影結果放映於電視上，取 3 煙圈於同一位置(以與雷射光相交之瞬間為準)停格觀察，以游標尺測量其外徑、內徑及方格紙(作為比例尺)在電視上之長度。
- (8) 將測量的各項數據換算為實際數據，各求其平均，並算出厚度。
《厚度=(外徑-內徑)/2》

3 . 不同單擺角度對煙圈前進速度及前進最長距離的影響

- (1) 將保特瓶管、煙圈產生管、單擺組依圖 1-2 擺置。
- (2) 將兩支雷射筆間距 10cm 擺放，將光圈口徑調至 1.50cm，單擺角度調至 15° 敲打 15 次，測量煙圈通過兩道雷射之時距，及其所能前進之最大距離(至煙圈接觸到管壁為止)。
- (3) 將單擺角度調至 20°、25°、30°、35°，重複 1.之做法。
- (4) 將光圈口徑調至 1.75cm，單擺角度調至 20°、25°、30°、35°、40°，重複 1.之做法。
- (5) 將光圈口徑調至 2.00cm，單擺角度調至 30°、35°、40°、45°、50°，重複 1.之做法。
- (6) 各項取最接近的 5 個數據求平均。

六. 研究結果

(一) 產生煙圈的單擺角度條件

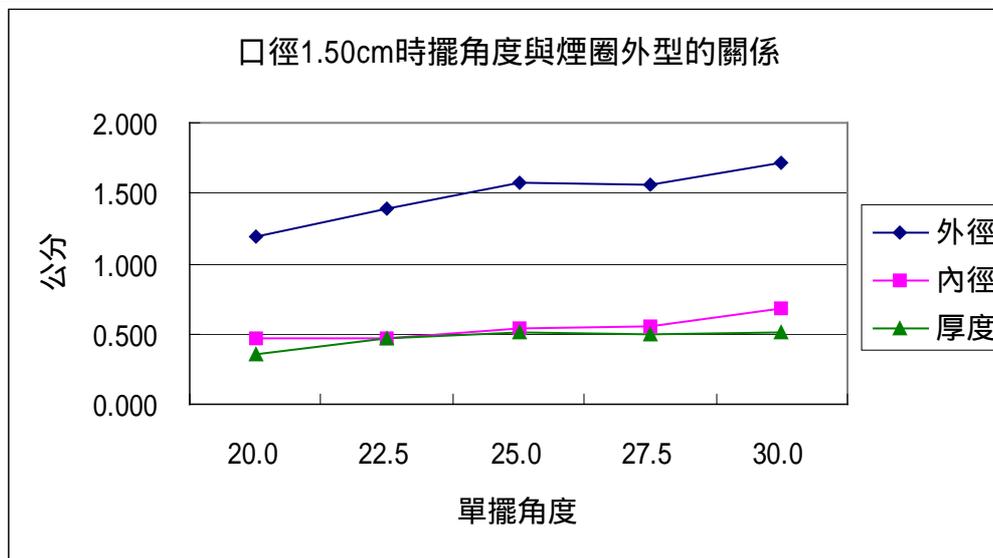
口徑\角度	5°	10°	15°
1.50(cm)			
1.75(cm)			
2.00(cm)			

結果顯示 能產生煙圈，且煙圈能前進 5cm 以上之最小單擺角度，隨口徑增大而增加

(二) 不同單擺角度對煙圈外型的影響

1. 口徑 1.50cm

角度	20.0°	22.5°	25.0°	27.5°	30.0°
外直徑平均值	1.193	1.387	1.571	1.559	1.716
±誤差值(cm)	±0.083	±0.041	±0.057	±0.110	±0.068
內直徑平均值	0.474	0.462	0.544	0.558	0.682
±誤差值(cm)	±0.019	±0.053	±0.033	±0.049	±0.029
厚度平均值	0.360	0.462	0.513	0.501	0.517
±誤差值(cm)	±0.037	±0.030	±0.044	±0.041	±0.044



結果顯示

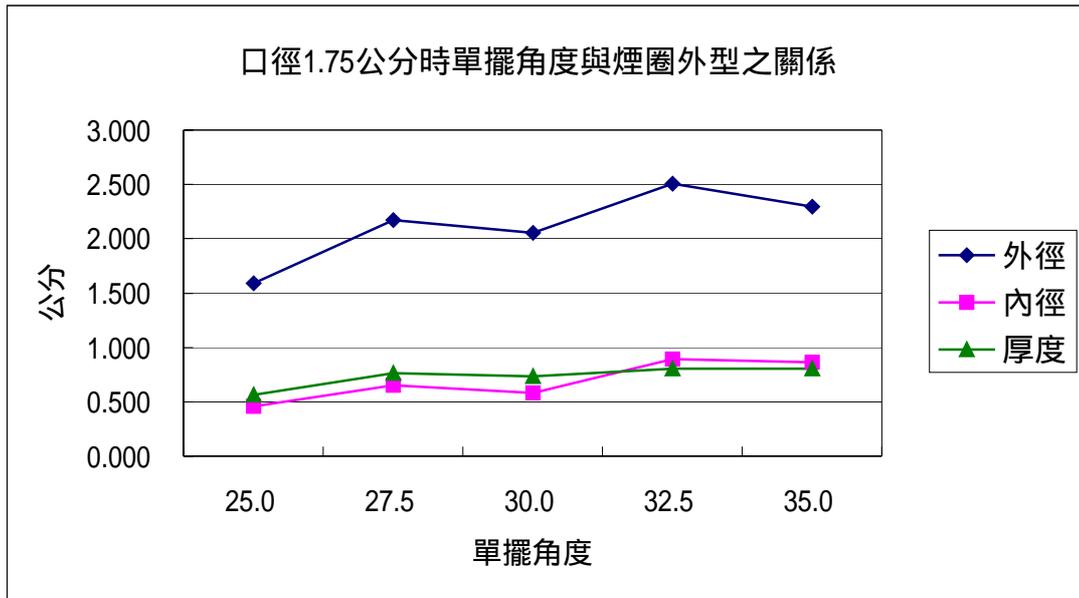
外直徑：20.0°為最低點，30.0°為最高點；折線圖形呈波浪狀，而整體趨勢為隨單擺角度增加而增加

內直徑：折線圖形與外直徑相似

厚度：折線圖形與外直徑相似，但變化量較小

2. 口徑 1.75cm

角度	25.0°	27.5°	30.0°	32.5°	35.0°
外直徑平均值	1.891	2.170	2.055	2.505	2.295
±誤差值(cm)	±0.096	±0.027	±0.149	±0.046	±0.024
內直徑平均值	0.460	0.649	0.582	0.895	0.861
±誤差值(cm)	±0.098	±0.087	±0.071	±0.079	±0.043
厚度平均值	0.565	0.761	0.736	0.805	0.807
±誤差值(cm)	±0.027	±0.039	±0.040	±0.022	±0.026



結果顯示

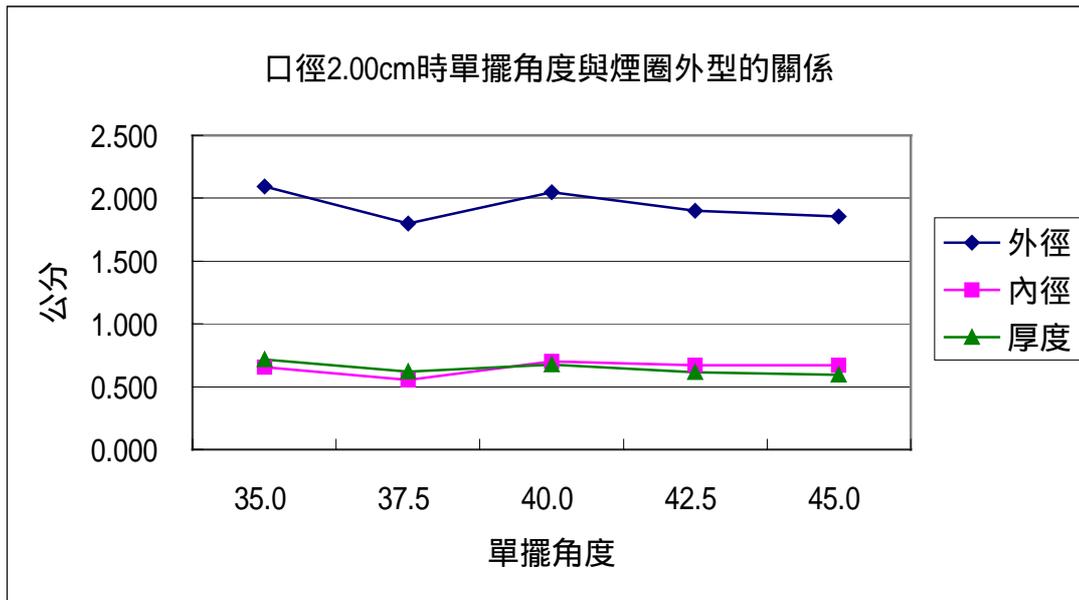
外直徑：25.0°為最低點，32.5°為最高點；折線圖形呈波浪狀，而整體趨勢為隨單擺角度增加而增加

內直徑：折線圖形與外直徑相似

厚度：折線圖形與外直徑相似，但變化量較小

3. 口徑 2.00cm

角度	35.0°	37.5°	40.0°	42.5°	45.0°
外直徑平均值	2.096	1.798	2.048	1.900	1.856
±誤差值(cm)	±0.097	±0.101	±0.039	±0.054	±0.023
內直徑平均值	0.657	0.554	0.699	0.673	0.669
±誤差值(cm)	±0.035	±0.046	±0.018	±0.044	±0.028
厚度平均值	0.719	0.622	0.674	0.614	0.593
±誤差值(cm)	±0.038	±0.038	±0.028	±0.049	±0.001



結果顯示

外直徑：37.5°為最低點，35.0°為最高點；折線圖形呈波浪狀，
而整體趨勢為隨單擺角度增加而減少

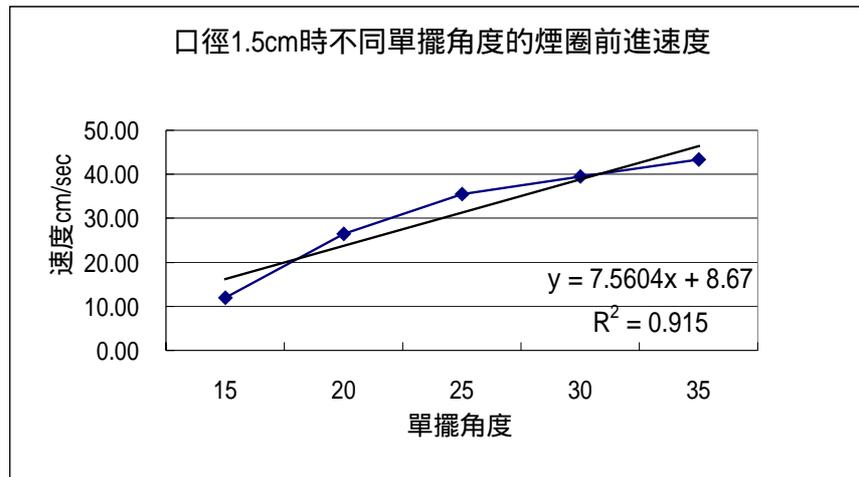
內直徑：折線圖形與外直徑相似

厚度：折線圖形與外直徑相似

(三) 不同單擺角度對煙圈前進速度的影響

1. 口徑 1.50cm

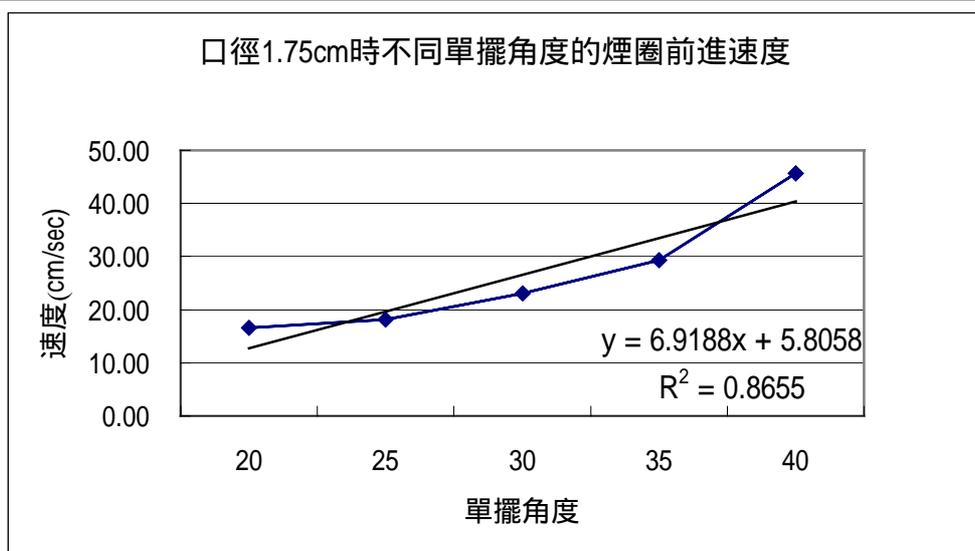
角度	15°	20°	25°	30°	35°
速度平均值 ±誤差值(cm/sec)	12.0±1.0	26.5±2.5	35.5±1.6	39.4±1.8	43.3±1.2



結果顯示 煙圈前進速度隨單擺角度增加而增快，而其回歸線的判定係數為 0.915

2. 口徑 1.75cm

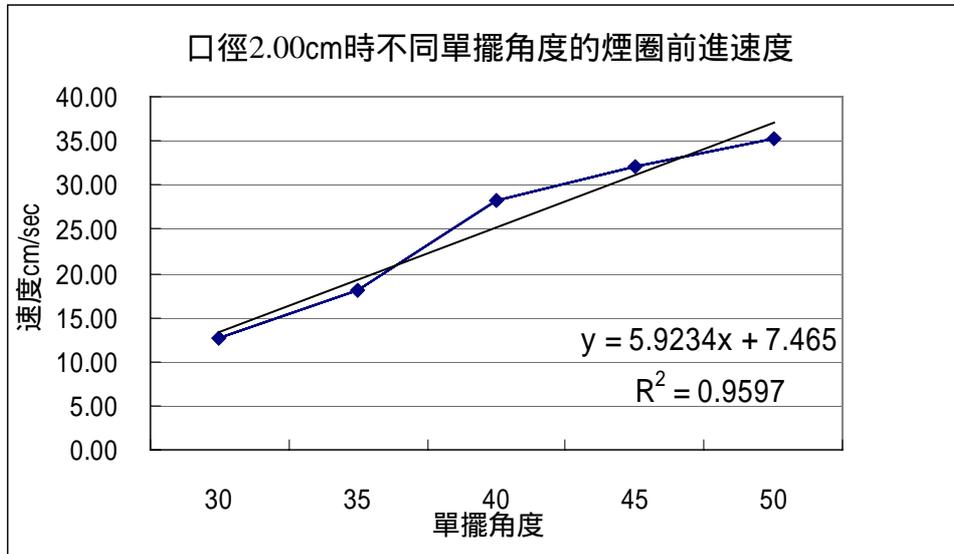
角度	20°	25°	30°	35°	40°
速度平均值 ±誤差值(cm/sec)	16.6±0.8	18.4±2.4	23.1±1.4	29.1±1.0	45.6±4.8



結果顯示 煙圈前進速度隨單擺角度增加而增快，而其回歸線的判定係數為 0.8655

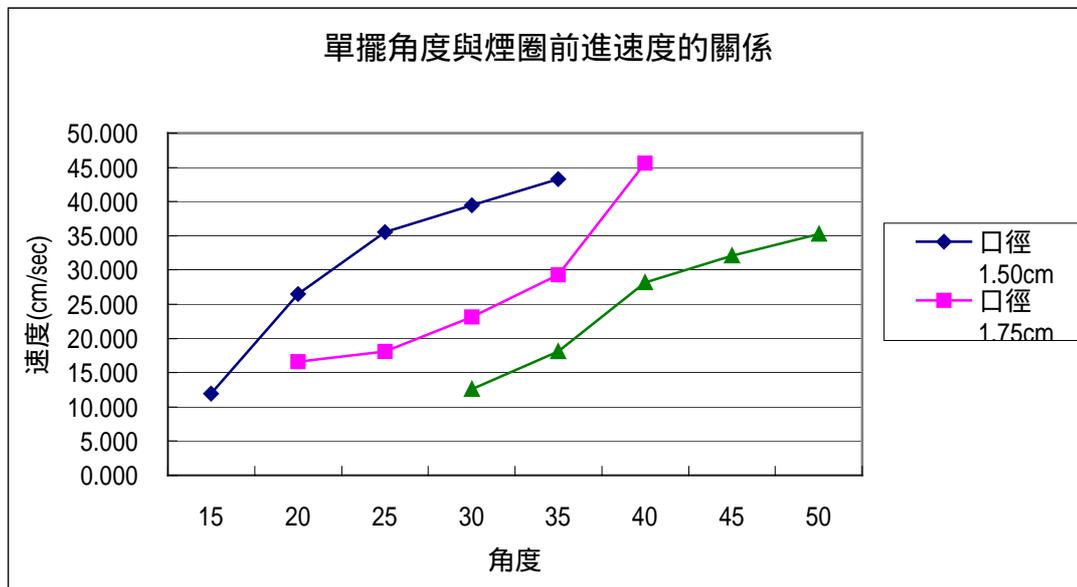
3. 口徑 2.00cm

角度	30°	35°	40°	45°	50°
速度平均值 ±誤差值(cm/sec)	12.6±1.2	18.1±0.9	28.1±1.3	32.1±1.1	35.2±1.2



結果顯示 煙圈前進速度隨單擺角度增加而增快，而其回歸線的判定係數為 0.9597

(四) 綜合比較.



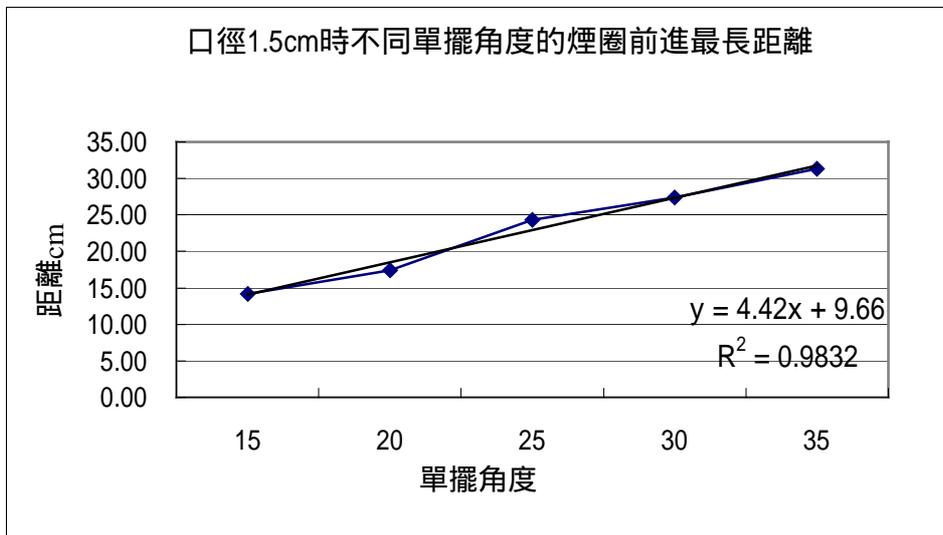
結果顯示

- (1) 不同口徑之下，煙圈前進速度皆隨單擺角度增加而增加，即作用力越大，煙圈前進速度越快
- (2) 比較單擺角度 30°及 35°時，三種口徑的煙圈前進速度，則可發現：相同作用力之下，速度隨口徑增大而減慢

(四). 不同單擺角度對煙圈前進最長距離的影響

1. 口徑 1.50cm

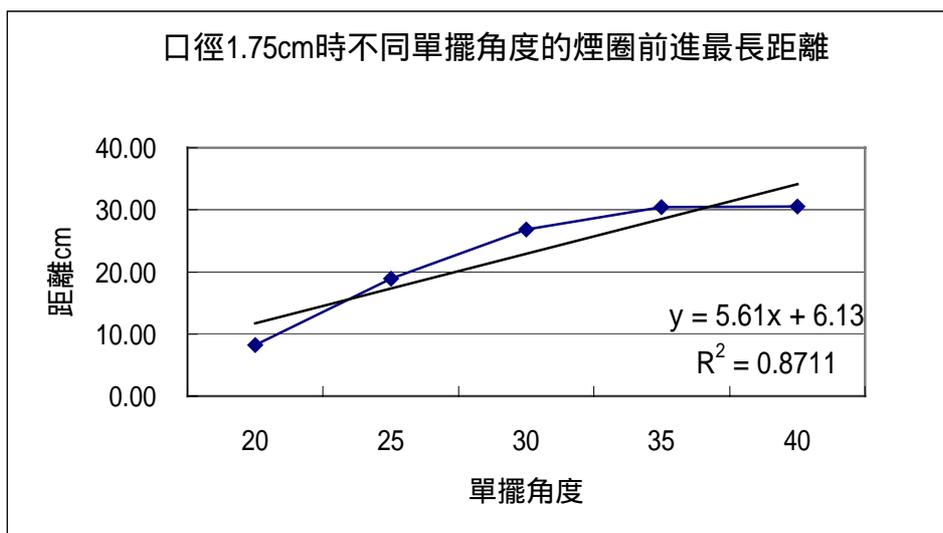
角度	15°	20°	25°	30°	35°
平均距離 ±誤差值(cm)	14.2±0.8	17.4±2.6	24.3±1.5	27.4±0.4	31.3±0.7



結果顯示 煙圈前進最長距離隨單擺角度增加而增長，而其回歸線的判定係數為 0.9832

2. 口徑 1.75cm

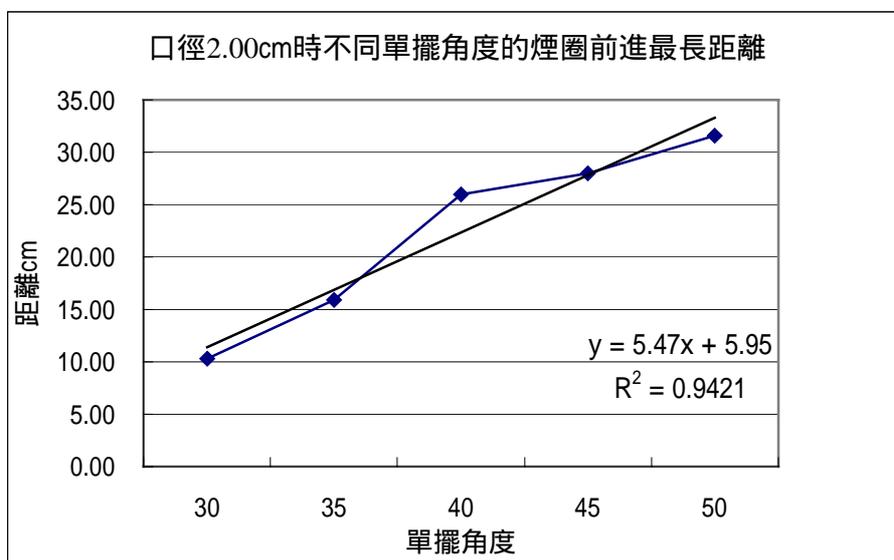
角度	20°	25°	30°	35°	40°
平均距離 ±誤差值(cm)	8.2±1.0	18.9±1.0	26.8±0.8	30.4±1.4	30.5±0.6



結果顯示 煙圈前進最長距離隨單擺角度增加而增長，而其回歸線的判定係數為 0.8711

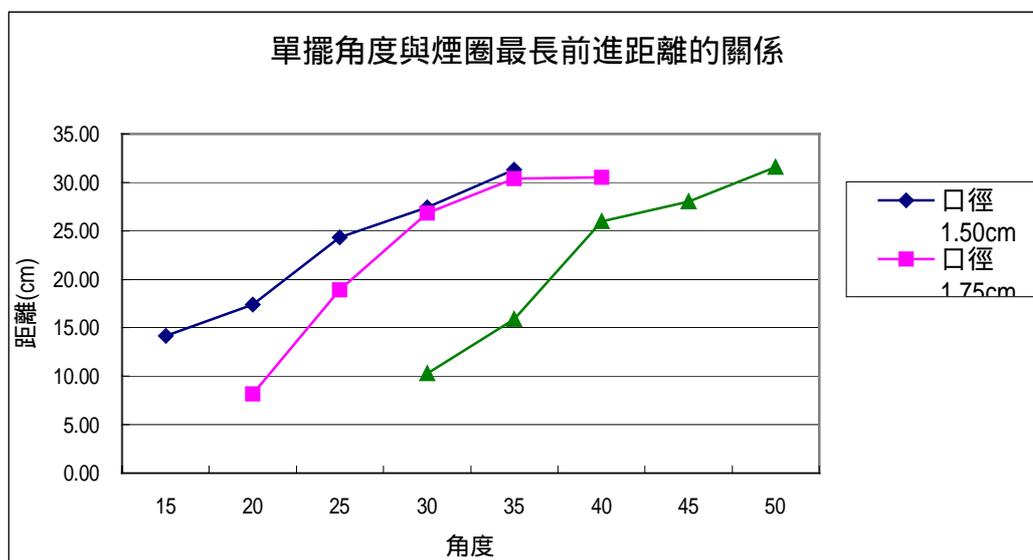
3. 口徑 2.00cm

角度	30°	35°	40°	45°	50°
平均距離 ±誤差值(cm)	10.3±0.6	15.9±1.1	26.0±1.0	28.0±0.5	31.6±0.6



結果顯示 煙圈前進最長距離隨單擺角度增加而增長，而其回歸線的判定係數為 0.9421

4. 綜合比較



結果顯示

- (1) 在不同口徑之下，煙圈前進最長距離皆隨單擺角度增加而增長，即作用力越大煙圈前進距離越長
- (2) 分別比較單擺角度 30°及 35°時，三種口徑的煙圈前進最長距離，則可發現：相同作用力之下，煙圈前進最長距離隨口徑增大而減短；且口徑 1.50 cm和 1.75 cm之數據差距甚小，口徑 1.75 cm之數據則都大約較 2.00 cm多一倍

七. 討論

1. 能產生煙圈的最小角度隨出口大小增大而增大。即出口大小越大，產生煙圈所需的作用力越大。
2. 出口大小固定時，煙圈大小整體上隨作用力增加而增大。但當出口大小大到某一程度，煙圈大小卻有隨作用力增加而減小的趨勢(如本實驗之 2.00cm 口徑)。
3. 煙圈前進速度隨作用力增大而增快，隨出口大小增大而減慢。根據他人的研究，在理想狀態下，煙圈中心之速度，可以下列式子表示：

$$U = \frac{k}{2r}$$

U = $\frac{k}{2r}$ k 為作用力，r 為煙圈半徑，U 為煙圈前進速度

由式子可知，煙圈速度與煙圈半徑成反比，與作用力成正比。

4. 煙圈前進最長距離的變化趨勢與煙圈前進速度相似，隨作用力增大而增長，隨口徑增大而減短。
5. 起先用蚊香的煙來做實驗，但由於蚊香煙的懸浮粒子微小，煙圈很淡，觀察不易。經他人建議，以氯化銨煙霧代替，因為其懸浮粒子較大，煙圈較明顯，較適合實驗之用。
6. 起初用手指敲打汽球膜以產生煙圈，但如此無法固定力量大小，故以單擺作為作用力的來源，且以改變單擺角度，來改變作用力大小。
7. 煙圈與雷射光相交時，可使煙圈較清楚，確定煙圈所在之位置，易於測量。
8. 誤差探討
 - (1) 所用之單擺組為塑膠製品，使用時間長，則易因擺錘重量而造成變形，影響敲打位置。
 - (2) 光圈長時間接觸鹽酸蒸氣而造成生鏽，使光圈葉片呈鋸齒狀，影響煙圈形狀。
 - (3) 雷射筆耗電量大，雷射光易變黯淡，影響觀測。

八. 結論

本實驗為研究作用力與出口大小對煙圈行為的影響，而由實驗結果得知此二者確實與煙圈行為關係密切。出口大小越大，開始產生煙圈所需的作用力越大。在一定出口大小範圍內，煙圈大小隨作用力增大而增大。在相同條件下，作用力越大，煙圈前進速度越快，前進最長距離越長；在相同條件下，出口大小越大，煙圈前進速度越慢，前進最長距離越短。

九. 展望

可進一步探討兩個以上煙圈之間的互動，如碰撞及追趕；並研究煙圈撞擊牆壁的效應。

十. 參考資料

- (一) 楊志良著，生物統計學新論，增修版，台北市，巨流圖書公司，339頁，民國75年
- (二) Victor L. Streeter, Fluid Dynamics, First Edition, McGraw-Hill Book Company
- (三) Professor Lim's Website
http://www.eng.nus.edu.sg/mpelimtt/TT_LIM.htm
- (四) Professor Robert Frasný's Homepage
<http://www.math.lsa.umich.edu/~frasný/gmeta.mov>